

- ВВЕР-1000 [Текст] / Р. Б. Медведев, С. Л. Мердх // Научно-технический журнал «Наукові вісті». — 2013. — № 3. — С. 132–139.
8. Архипенко, А. В. Состояние водно-химических режимов основных и вспомогательных контуров АЭС Украины и основные направления их совершенствования [Текст] / А. В. Архипенко // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС». — М., 2003. — 247 с.
  9. Егорова, Т. М. Анализ ведения водно-химического режима основного технологического контура и вспомогательных систем АЭС с РБМК и основные направления совершенствования ВХР [Текст] / Т. М. Егорова, В. Г. Крицкий // Международное научно-техническое совещание «Водно-химический режим АЭС». — М., 2003. — 247 с.
  10. Медведев, Р. Б. Система керування температурним режимом блочної знесолуючої установки АЕС [Текст] / Р. Б. Медведев, С. Л. Мердх // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 4/2(64). — С. 42–46. — Режим доступу: <http://www.URL: http://journals.urau.ua/eejet/article/view/16657/>

#### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВТОРОГО КОНТУРА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Проведен анализ причин возникновения аварийных ситуаций на АЭС. Рассмотрены принципы ликвидации аварийных ситуаций. Приведен обобщенный алгоритм диагностирования состояния водно-химического режима (ВХР) второго контура энергоблока АЭС. Разработаны логические модели, предназначенные для определения причин нарушений норм ведения ВХР. Разработаны стратегии управления для формирования соответствующих управляющих воздействий во избежание аварийных режимов эксплуатации АЭС.

**Ключевые слова:** диагностирование состояния водно-химического режима, логические модели, ликвидация аварийных ситуаций.

**Сангінова Ольга Вікторівна**, кандидат технічних наук, доцент, докторант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: [olga.sanginova@gmail.com](mailto:olga.sanginova@gmail.com).  
**Медведев Ромуальд Броніславович**, кандидат технічних наук, професор кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: [medvedev@xtf.ntu-kpi.kiev.ua](mailto:medvedev@xtf.ntu-kpi.kiev.ua).  
**Мердх Світлана Леонідівна**, асистент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: [merdukh.svetlana@gmail.com](mailto:merdukh.svetlana@gmail.com).

**Сангінова Ольга Викторовна**, кандидат технических наук, доцент, докторант, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.  
**Медведев Ромуальд Брониславович**, кандидат технических наук, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.  
**Мердх Светлана Леонидовна**, ассистент, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

**Sanginova Olga**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [olga.sanginova@gmail.com](mailto:olga.sanginova@gmail.com).  
**Medvedev Romuald**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [medvedev@xtf.kpi.ua](mailto:medvedev@xtf.kpi.ua).  
**Merdukh Svetlana**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [merdukh.svetlana@gmail.com](mailto:merdukh.svetlana@gmail.com)

УДК 681.5.03

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37770

**Свістельник С. С.,  
Ткачук А. Г.,  
Ільницький Т. П.,  
Правденко Р. В.**

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ АСТАТИЧНИМ ОБ'ЄКТОМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ

Розглянуто процес проектування систем автоматичного керування та проаналізовано основні його етапи. Охарактеризовано найпоширеніші закони регулювання та регулятори, побудовані на їх основі. Розглянуто процес вибору регулятора та метод розрахунку параметрів його налаштування для керування астатичним об'єктом третього порядку з порядком астатизму, що дорівнює одиниці. Показано, що якісний процес керування забезпечується шляхом використання саме пропорційно-диференціальний закону керування.

**Ключові слова:** система автоматичного керування, регулятор, об'єкт керування, астатизм, передатна функція.

### 1. Вступ

У створеному людиною світі машин, що швидко розвивається, росте кількість та складність пристроїв, які виконують функції керування. Саме ж керування являє собою сукупність дій на який-небудь процес чи об'єкт, що забезпечує досягнення поставленої мети. Керування машинами, технічними системами та технологічними процесами без безпосередньої участі

людини називається автоматичним. А, як наслідок, система автоматичного керування (САК) — це сукупність керованого об'єкта й автоматичних вимірювальних та керуючих пристроїв [1]. На відміну від автоматизованої системи керування, ця система самодіюча і реалізує встановлені функції процеси автоматично, без участі людини (крім етапів пуску та налагодження системи).

Весь процес проектування САК можна поділити на декілька етапів:

- 1) складання математичної моделі об'єкта керування (ОК);
- 2) вибір обладнання: регулятора, вимірювальних, виконавчих та підсилюючо-перетворюючих пристроїв;
- 3) аналіз або синтез САК;
- 4) вибір засобів або алгоритмів корекції незмінної частини автоматичного регулятора, виходячи із заданих вимог до показників якості САК;
- 5) математичне моделювання САК.

Одним із найважливіших етапів проектування САК є вибір та розрахунок параметрів налаштування регулятора. На даний час існує декілька видів регуляторів, побудованих на різних законах регулювання: пропорційні (П-регулятори), пропорційно-інтегральні (ПІ-регулятори), пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-регулятори), пропорційно-диференціальні (ПД-регулятори), тощо. Формування закону регулювання здійснюється відповідно до алгоритму перетворення сигналу, що проходить через регулятор (корегувальний пристрій) в напрямі «вхід-вихід». У ряді випадків у формуванні закону регулювання беруть участь сигнали різних зворотних зв'язків; «жорстких», якщо сигнал є пропорційним регулюючій дії, і «гнучких», якщо до оператора входять похідні.

Автоматичні регулятори, що реалізують П-закон, називають також регуляторами з жорстким зворотнім зв'язком, або статичними. П-регулятор видає вихідний сигнал, пропорційний вхідному, з певним коефіцієнтом пропорційності.

Регулятори, які працюють за ПІ-законом, виконують переміщення регулюючого органу пропорційно до суми відхилення та інтеграла від відхилення регульованої величини. У динамічному відношенні ПІ-регулятор подібний системі з двох паралельно включених регуляторів: пропорційного з та інтегрального з відповідними коефіцієнтами передачі. Реалізовується ПІ-закон за допомогою гнучкого зворотного зв'язку.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон регулювання — найскладніший алгоритм функціонування автоматичного регулятора, що включає вплив усіх розглянутих вище законів. Реалізація цього закону пов'язана із застосуванням пружного зворотного зв'язку.

Регулятори, що реалізують ПД-закон регулювання, можна зобразити у вигляді системи, що містить дві паралельно працюючі типові ланки: пропорційної та ідеальної диференціюючої. Особливістю даного закону є те, що регулювання ведеться з урахуванням як величини відхилення регульованого параметра, так й швидкості його зміни. Цим обґрунтовується актуальність даного дослідження.

## 2. Постановка завдання

Перед тим, як розраховувати параметри регулятора, необхідно сформулювати мету і критерії якості регулювання. Традиційно, основні якісні показники формуються виходячи з вимог до реакції замкненої системи на ступеневий вхідний сигнал. У загальному випадку вибір показників якості не може бути формалізований повністю і повинен здійснюватися, виходячи зі змісту задачі, що розв'язується. Згідно теорії автоматичного керування структура регулятора вибирається виходячи з моделі ОК. При цьому більш складним ОК відповідають більш складні регулятори.

У промисловості, зазвичай, застосовуються ПІД-регулятори, однак, їх структура не завжди дає необхідну якість регулювання. Вперше методику розрахунку параметрів ПІД-регуляторів запропонували Зіглер і Нікольс у 1942 р. Ця методика є простою, але не дає необхідних результатів. Однак, вона і до цього часу часто використовується на практиці.

Після розрахунку параметрів регулятора потрібно також його ручне підстроювання для поліпшення якості регулювання. Для цього використовується ряд правил, добре обґрунтованих теоретично. Для налаштування ПІД-регуляторів можна використовувати і загальні алгебраїчні методи теорії автоматичного керування.

Всі види автоматичної настройки представляють три принципово важливих етапи: ідентифікація ОК, розрахунок параметрів регулятора, більш точна настройка регулятора. Часто кінцевий етап включає етап підстроювання (заключна оптимізація настройки). Оптимізація налаштування необхідна у зв'язку з тим, що методи розрахунку параметрів регулятора за традиційними формулами не враховують нелінійності ОК, зокрема, завжди присутню нелінійність типу «обмеження», а ідентифікація параметрів ОК виконується наближено.

Для одержання якісного регулювання, в тому числі після автоматичного налаштування ПІД-регулятора, необхідна наявність інформації про динамічну поведінку ОК. Ідентифікація ОК може бути структурною, коли проводиться пошук структури математичного опису об'єкта, або параметричною, коли для відомої структури знаходять значення параметрів, що входять до рівняння моделі. Коли проводиться пошук параметрів моделі з відомою структурою, то говорять про ідентифікацію параметрів моделі, а не об'єкта.

Незважаючи на різноманітність і складність реальних ОК, при синтезі параметрів ПІД-регулятора використовуються, як правило, тільки дві структури математичних моделей ОК: модель першого порядку із затримкою, та модель другого порядку із затримкою.

Основною причиною, яка обмежує застосування більш складних моделей є неможливість або трудомісткість аналітичного вирішення системи рівнянь, що описують ПІД-регулятор з моделлю високого порядку (саме аналітичні рішення набули найбільшого поширення при синтезі ПІД-регуляторів з автоматичним налаштуванням). Моделі більш високих порядків використовуються значно менше. Виходячи з цього, задача розробки методу розрахунку параметрів регулятора для керування більш складними об'єктами високого порядку, як статичними, так і астатичними, є актуальною інженерною проблемою.

## 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — регулятор для керування як статичними, так і астатичними об'єктами високого порядку.

Метою статті є приведення та аналіз розробленого методу розрахунку параметрів налаштування регулятора для керування як статичними, так і астатичними об'єктами високого порядку.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Проаналізувати передатну функцію астатичного об'єкта третього порядку.

2. Порівняти існуючі види регуляторів, побудованих на різних законах регулювання: пропорційні (П-регулятори), пропорційно-інтегральні (ПІ-регулятори), пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-регулятори), пропорційно-диференціальні (ПД-регулятори).

3. Забезпечити структуру та параметри налаштування регулятора, який перетворить замкнутий контур системи у коливальну ланку з малою постійною (бажаною) часу та коефіцієнтом передачі, що дорівнює одиниці.

4. Провести необхідне моделювання.

#### 4. Аналіз літературних даних

У літературі [2–5] детально описано загальні алгебраїчні методи теорії автоматичного керування для налаштування ПІД-регуляторів, приведено їх порівняльну характеристику.

У роботах [6, 7] апробовано дослідження, спрямовані на оптимізацію роботи ПІД-регуляторів, що використовуються для контролю температури відцентрових машин у цукровій промисловості. Проведено аналіз класичних методів настройки ПІД-регуляторів.

У роботі [8] розглянуто сучасні методи оптимізації конструкції регуляторів, акцентуючи увагу на швидкодії та надійності конструкції. Наведено алгоритм розрахунку індексу продуктивності регулятора.

У роботі [9] розглянуто методи налаштування нелінійних ПІД-регуляторів.

Інформація про методи, які є альтернативними алгебраїчним методам теорії автоматичного керування для налаштування ПІД-регуляторів, відображена у роботах [10–12].

У роботі [13, 14] розглянуто аналітичне конструювання оптимальних регуляторів (ПІ, ПІД) при жорстко заданій структурі.

#### 5. Основні положення

Розрахунок параметрів налаштування регулятора за методом, що розглядається нижче, є наближеним, але дозволяє отримати якісні характеристики при керуванні астатичним об'єктом третього порядку з передатною функцією виду:

$$W_{OK}(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}, \quad (1)$$

де  $T_1$  та  $T_2$  — постійні часу ОК,  $K$  — коефіцієнт передачі ОК.

У загальному випадку, структурна схема системи керування має вигляд, наведений на рис. 1.

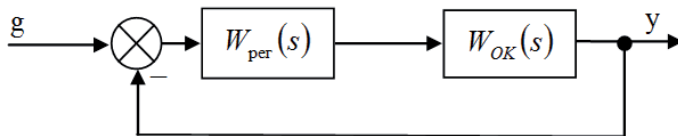


Рис. 1. Структурна схема системи керування

Метою даної задачі є вибір структури та параметрів налаштування регулятора, який перетворить замкнутий контур системи у коливальну ланку з малою постій-

ною (бажаною) часу  $T_B$ , та коефіцієнтом передачі, що дорівнює одиниці:

$$W_K(s) = \frac{1}{T_B^2 s^2 + 2T_B \xi s + 1}, \quad (2)$$

де  $\xi$  — коефіцієнт загасання коливаль.

Для забезпечення плавного перехідного процесу, близького до аперіодичного, необхідно, щоб  $\xi > 1$ .

Для визначення структури регулятора, необхідно прирівняти вираз для передатної функції замкненої системи до виразу (2):

$$\frac{W_{per}(s) \cdot W_{OK}(s)}{1 + W_{per}(s) \cdot W_{OK}(s)} = W_K(s), \quad (3)$$

або:

$$\frac{W_{per}(s) \cdot K}{s(T_1s+1)(T_2s+1) + W_{per}(s) \cdot K} = \frac{1}{T_B^2 s^2 + 2T_B \xi s + 1}. \quad (4)$$

З рівняння (4) отримаємо передатну функцію регулятора:

$$W_{per}(s) = \frac{T_1 T_2 s^3 + (T_1 + T_2) s^2 + s}{K T_B^2 s^2 + 2T \xi K s}. \quad (5)$$

Розділимо поліном чисельника на поліном знаменника. Перші три складові отриманого ряду співпадають з математичним описом ідеального ПІД-регулятора:

$$W_{per}(s) = T_D s + K_{II} + \frac{K_I}{s}, \quad (6)$$

де диференціальна складова має вигляд:

$$T_D = \frac{T_1 T_2}{K T_B^2}; \quad (7)$$

пропорційна —

$$K_{II} = \frac{(T_1 + T_2) \cdot T_B - 2\xi T_1 T_2}{K T_B^3}; \quad (8)$$

інтегральна —

$$K = \frac{T_B^2 - 2\xi \cdot [(T_1 + T_2) \cdot T_B - 2\xi T_1 T_2]}{K T_B^4}. \quad (9)$$

Задачу можна розглядати як термінальну задачу керування, при якій об'єкт з одного стану в інший переводиться за заданий проміжок часу:

$$t_{per} \leq 2n T_B, \quad (10)$$

де  $t_{\text{пер}}$  — заданий час регулювання вихідної координати;  $2n$  — емпірична складова, що визначається за перехідною характеристикою коливальної ланки (2):

$$h(t) = 1 - \left( \sqrt{1 - \xi^2} \right)^{-1} e^{-\xi t / T_B} \sin \left( \sqrt{1 - \xi^2} \frac{t}{T_B} + \arccos \xi \right), \quad (11)$$

залежить від величини  $\xi$ , та враховує наближений метод розрахунку параметрів регулятора.

З (8) випливає, що при  $T_B = \frac{2\xi T_1 T_2}{(T_1 + T_2)}$  зникає пропо-

рційна складова  $K_P$ , що призведе до затягування процесу керування в цілому. Тому для отримання якісних характеристик процесу керування, для випадку, коли  $K_P > 1$ , при визначенні бажаної постійної часу коливальної ланки  $T_B$ , необхідно враховувати емпіричний коефіцієнт  $m = 1, 3 \dots 1, 4$ :

$$T_B = m \frac{2\xi T_1 T_2}{(T_1 + T_2)}. \quad (12)$$

## 5. Розв'язок задачі для конкретного технологічного об'єкта

Проведемо моделювання з наступними параметрами ОК:  $K = 0,5$ ,  $T_1 = 0,1$  с,  $T_2 = 1$  с, та коефіцієнтом загасання коливальності:  $\xi = 1,2$ .

За виразом (12) бажана постійна часу буде дорівнювати  $T_B = 0,3$  с. Тоді використовуючи вирази (7) та (8), отримаємо параметри налаштування ПД-регулятора:  $K_P = 6,67$ ,  $T_D = 2,22$  с.

На рис. 2 наведена модель системи керування, створена у модулі Simulink MATLAB.

На рис. 3 наведено результат моделювання у вигляді перехідної характеристики вихідної координати системи, та перехідної характеристики «коливальної» ланки, що лягла в основу методу розрахунків.

З рис. 3 видно, що обраний регулятор забезпечує якісне керування з відносним перерегулюванням вихідної координати у межах 16 %, та часом регулювання, який дорівнює 2,8 с і відповідає виразу (10) (значенню  $\xi = 1,2$  відповідає значення  $n = 6,21$ ).

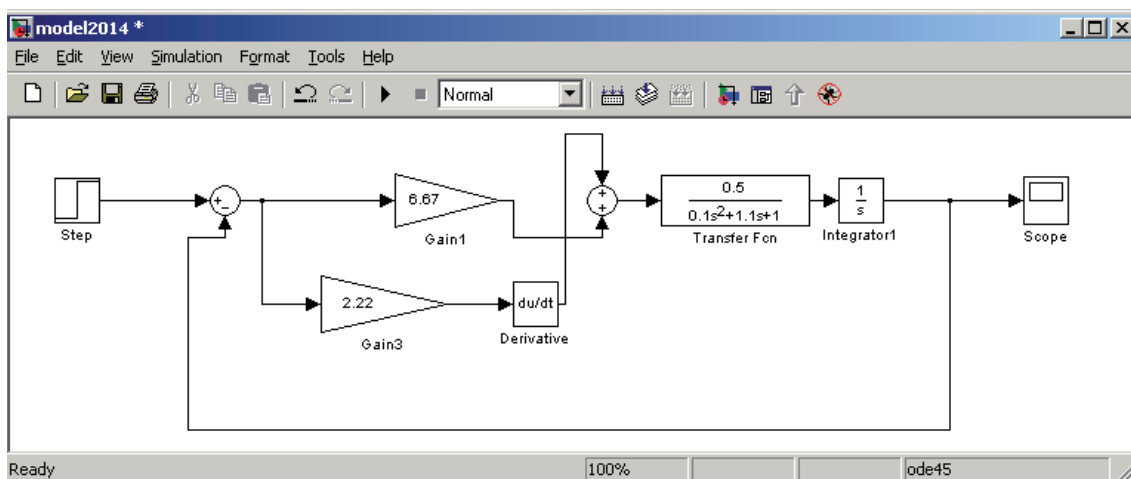


Рис. 2. Модель системи керування

Аналіз виразу (9) з урахування рекомендацій щодо визначення величини  $T_B$  за виразом (12), показує, що у даному випадку інтегральна складова  $K_I$  буде мати від'ємне значення. Для отримання додатного значення  $K_I$ , емпіричний коефіцієнт  $m$  повинен бути на порядок більше зазначеного, що, виходячи з виразу (10), призведе також до затягування процесу керування. Тому для керування астатичним об'єктом третього порядку з порядком астатизму, що дорівнює одиниці, доцільно вилучити інтегральну складову, тобто використовувати пропорційно-диференціальний закон керування.

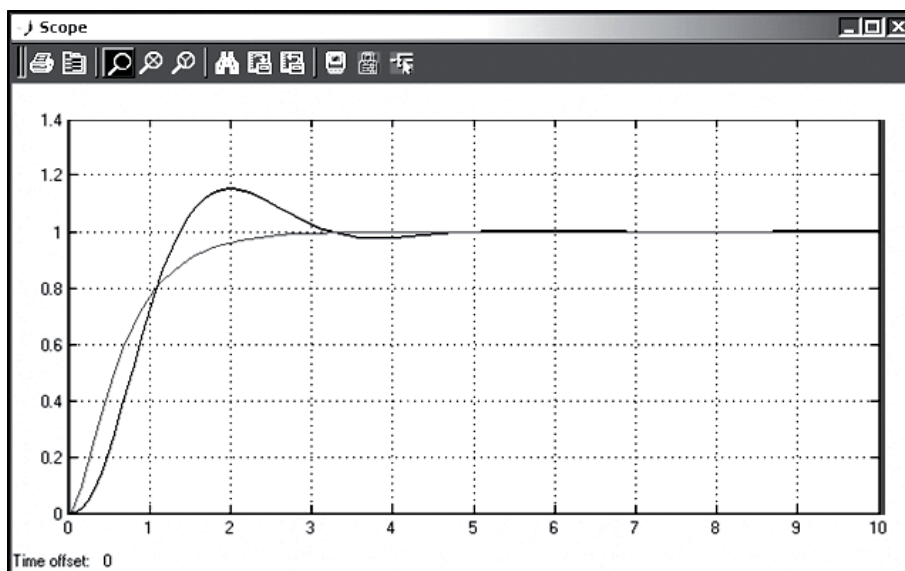


Рис. 3. Перехідні характеристики синтезованої системи керування та базової «коливальної» ланки



## 6. Висновки

Розроблено метод розрахунку параметрів регулятора для керування астатичними об'єктами третього порядку.

Доведено, що якісний процес керування забезпечується використанням пропорційно-диференційного закону керування.

Показано, що розраховані параметри ПД-регулятора забезпечують майже плавну зміну вихідної координати об'єкта керування, що вказує на доцільність використання розробленого методу. Відмінність закону зміни вихідної координати від аперіодичного закону є результатом наближених розрахунків параметрів регулятора, що є відмінною рисою запропонованого методу.

## Література

1. Самотокін, Б. Б. Лекції з теорії автоматичного керування [Текст]: навчальний посібник / Б. Б. Самотокін. — Житомир: ЖІТІ, 2001. — 508 с.
2. Комиссарчик, В. Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов [Текст]: учебное пособие / В. Ф. Комиссарчик. — Тверь: ТГТУ, 2001. — 248 с.
3. Кузищин, В. Ф. Настройка автоматических регуляторов с определением модели объекта второго порядка с запаздыванием по двум точкам комплексной частотной характеристики [Текст] / В. Ф. Кузищин, С. В. Петров // Теплоэнергетика. — 2012. — № 10. — С. 50–57.
4. Дикусар, Ю. Г. Аналитические формулы и алгоритмы определения параметров настройки автоматических регуляторов энергоустановки [Текст] / Ю. Г. Дикусар, А. В. Волков, Г. В. Фарафонов // Сборник научных трудов СНУЭИП. — 2008. — № 4(28). — С. 15–21.
5. Писарев, А. В. Сравнительные исследования расчетных методов определения параметров настроек промышленных ПИД-регуляторов [Текст] / А. В. Писарев // Энергетика и теплотехника. Сборник научных трудов НГТУ. — 2007. — № 11. — С. 191–200.
6. Singh, S. Kr. Multi-Objective Optimization of PID Controller for Temperature Control in Centrifugal Machines Using Genetic Algorithm [Text] / Sanjay Kr. Singh, D. Boolchandani, S. G. Modani, Nitish Katal // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. — 2014. — Vol. 7, № 9. — P. 1794–1802.
7. Mohd, R. Multi-objective optimization of PID controller parameters using genetic algorithm [Text] / R. Mohd // A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Electrical). — Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Electrical Engineering, 2012. — P. 104–108.
8. Chen, Y. Application of Improved Genetic Algorithm in PID Controller Parameters Optimization [Text] / Y. Chen, Y. Ma, W. Yun // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. — 2013. — Vol. 11, № 3. — P. 1524–1530. doi:10.11591/telkomnika.v11i3.2301
9. Murray, N. Nonlinear PID controller [Text] / Nicholas Murray // Electrical Engineering. — 1990. — V. 1. — P. 154–159.
10. EBA FINAL draft Regulatory Technical Standards [Electronic resource] / BCC Research. — 2015. — Available at: \www/URL: <http://www.eba.europa.eu/documents/10180/642449/EBA-RTS-2014-06+RTS+on+Prudent+Valuation.pdf>
11. Жмудь, В. А. Расчет множества коэффициентов регуляторов для объекта с двумя нестационарными параметрами [Текст] / В. А. Жмудь, А. В. Полищук // Сборник научных трудов НГТУ. — 2012. — № 3(69). — С. 59–70.
12. Бажанов, В. Л. Настройка ПИД-регуляторов с помощью метода масштабирования на объектах управления с запаздыванием и на объектах высокого порядка [Текст] / В. Л. Бажанов, А. В. Кузьмин, Н. В. Кузьмин // Автоматизация в промышленности. — 2009. — № 2. — С. 15–20.
13. Тютюнник, А. Г. Оптимальні і адаптивні системи автоматичного керування [Текст]: навчальний посібник / А. Г. Тютюнник. — Житомир: ЖІТІ, 1998. — 512 с.
14. Bezvesilnaya, E. N. Corrected gyrocompass synthesis as a system with changeable structure for aviation gravimetric system with piezoelectric gravimeter [Text] / E. N. Bezvesilnaya, A. H. Tkachuk // Aviation. — 2014. — Vol. 18, № 3. — P. 134–140. doi:10.3846/16487788.2014.969878

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АСТАТИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Рассмотрен процесс проектирования систем автоматического управления и проанализированы основные его этапы. Охарактеризованы наиболее распространенные законы регулирования и регуляторы, построенные на их основе. Рассмотрен процесс выбора регулятора и метод расчета параметров его настройки для управления астатическим объектом третьего порядка с порядком астатизма, равным единице. Показано, что качественный процесс управления обеспечивается путем использования именно пропорционально-дифференциального закона управления.

**Ключевые слова:** система автоматического управления, регулятор, объект управления, астатизм, передаточная функция.

**Свістельник Сергій Сергійович**, старший викладач, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: [mblg\\_tavr@yahoo.com](mailto:mblg_tavr@yahoo.com).

**Ткачук Андрій Геннадійович**, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: [andrew\\_tkachuk@i.ua](mailto:andrew_tkachuk@i.ua).

**Ільницький Тарас Петрович**, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: [andrew\\_tkachuk@i.ua](mailto:andrew_tkachuk@i.ua).

**Правденко Руслан Вадимович**, кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій, Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: [andru\\_tkachuk@ukr.net](mailto:andru_tkachuk@ukr.net).

**Свистельник Сергей Сергеевич**, старший преподаватель, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

**Ткачук Андрей Геннадьевич**, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

**Ильницкий Тарас Петрович**, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

**Правденко Руслан Вадимович**, кафедра автоматизированного управления технологическими процессами и компьютерных технологий, Житомирский государственный технологический университет, Украина.

**Свистельник Sergiy**, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: [mblg\\_tavr@yahoo.com](mailto:mblg_tavr@yahoo.com).

**Tkachuk Andriy**, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: [andrew\\_tkachuk@i.ua](mailto:andrew_tkachuk@i.ua).

**Ilnytskiy Taras**, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: [andrew\\_tkachuk@i.ua](mailto:andrew_tkachuk@i.ua).

**Pravdenko Ruslan**, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: [andru\\_tkachuk@ukr.net](mailto:andru_tkachuk@ukr.net)